

## К ВОПРОСУ О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДОВ МЕЖДУ СМЕНАМИ МАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ ЗЕМЛИ

© 2014 г. Н. П. Костров, К. С. Иванов

Обратиться к этой проблеме мы были вынуждены в ходе своих исследований по компьютерному моделированию глубинного строения триасовых грабенов Западной Сибири на основе потенциальных полей, включая магнитное [1, 2]. Более того, важность данной проблемы для человечества в целом невозможно переоценить, поскольку через магнитную переполусовку Земли оно еще не прошло. По всей видимости, последствия этого неизбежного события будут чрезвычайно велики, и весьма важно попытаться с высокой степенью обоснованности предсказать, когда оно произойдет.

Движение флюида (расплава) в районе внешнего ядра Земли генерирует глобальное магнитное поле. Примерно 90% наблюдаемого на поверхности Земли поля имеет дипольный характер. Эти дипольные компоненты имеют нерегулярный дрейф вокруг оси вращения Земли, такой, что усредненное за 10 000 лет поле приблизительно совпадает с полюсами вращения Земли. До конца пока не понятно, почему магнитное поле может менять (и многократно менять) полярность. Можно предполагать, что смена магнитных полюсов Земли, вероятно, происходит как по внутриземным, так и по внешним (космическим) причинам. Например, по таким, как прохождение Земли через поля крупных тел, события на Солнце, возможно падение наиболее значимых метеоритов и др.

Геомагнитные инверсии в первом приближении отражают случайный процесс с интервалами между последующими инверсиями, не зависящими от предыдущих изменений полярности. Длительность интервалов одной полярности изменяется от 30 тыс. лет до нескольких десятков миллионов лет. Средняя частота геомагнитных инверсий в кайнозой составляет около трех за 1 млн лет, и самая недавняя инверсия была около 781 тыс. лет назад. Есть интервалы, такие как среднемеловой, когда геомагнитное поле не было подвержено инверсиям до 40 млн лет.

Инверсия полярности геомагнитного поля – геологически скоротечное событие, обычно длящееся не более 4–6 тыс. лет [7]. В шкале инверсий это время условно делится пополам и приписывается к хронам соответствующей полярности. Магнито-стратиграфические исследования обычно показывают кратковременные инверсии полярности неиз-

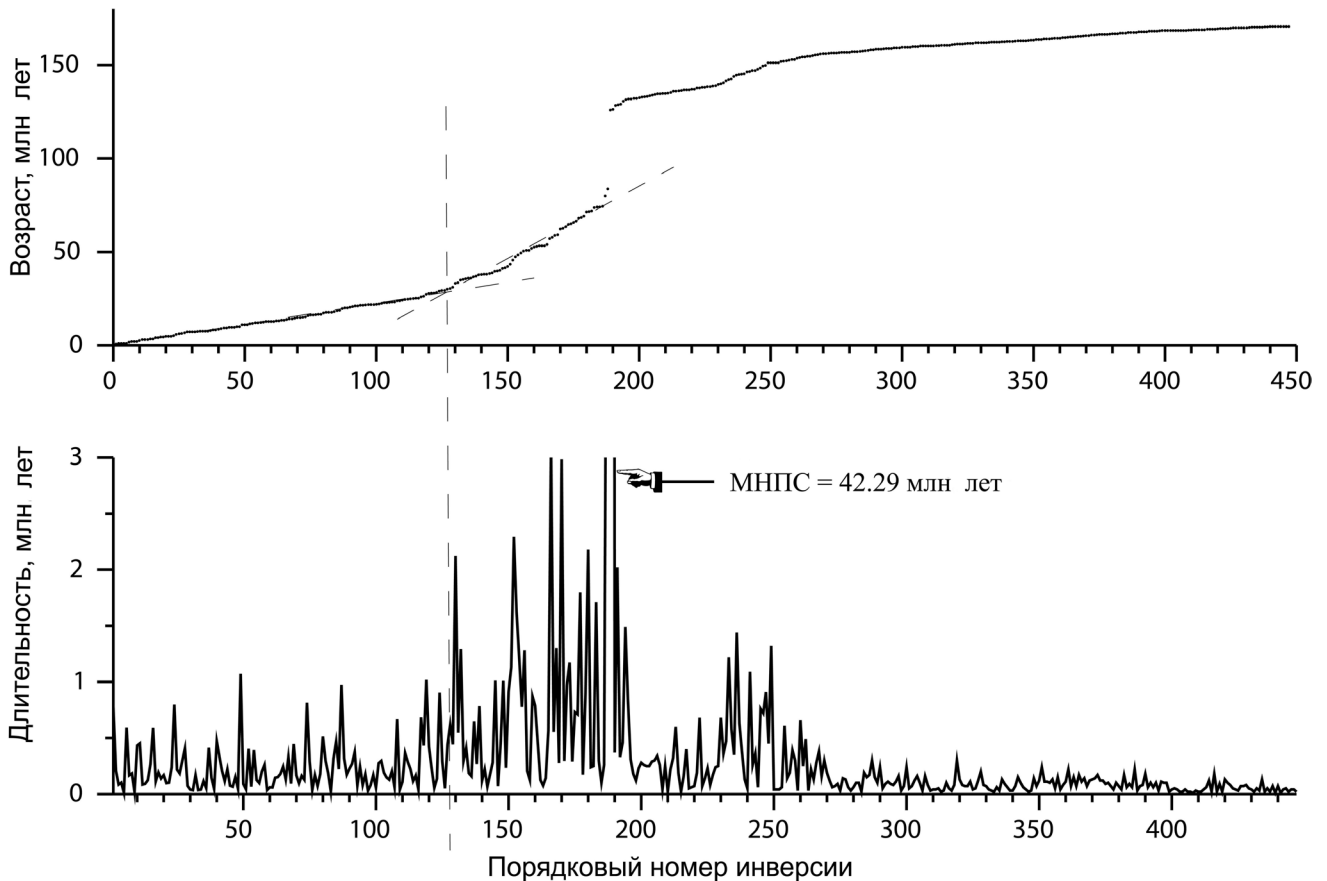
вестной продолжительности, на которые ссылаются как на “события”. События имеют несколько источников, среди которых – экскурсы геомагнитного поля, изменения палеоинтенсивности и кратковременные инверсии полярности.

Время от времени, по-видимому, геомагнитное поле подвергается экскурсам, которые характеризуются изменением магнитного склонения, которое превосходит 45°, или даже является кратким (от 3 до 6 тыс. лет) интервалом противоположной полярности. Экскурсы дают очень точные, но редко наблюдаемые стратиграфические маркеры. По крайней мере восемь экскурсов было идентифицировано за последние 780 тыс. лет [8]. Истинными инверсиями геомагнитного поля принято считать аномалии, длящиеся более 30 тыс. лет [4, 5]. Аномалии, длящиеся менее 30 тыс. лет, названы криптохронами. Они могут быть или очень кратковременными инверсиями полярности, или долгопериодическими вариациями интенсивности поля, или экскурсами геомагнитного поля [4, 5]. В настоящей работе мы рассматриваем историю инверсий геомагнитного поля, отвечающую уровню современных требований [10].

За последние 160 млн лет история инверсий геомагнитного поля насчитывает три разных эпизода. Самый недавний сформировался в кайнозой и позднем мелу (его принято называть С-последовательность). Он отделяется от аномалий, сформированных в поздней юре и раннем мелу (М-последовательность), меловой спокойной зоной (меловой нормальной полярности суперхрон – МНПС). За последние 40 млн лет обращает на себя внимание наличие периодов прямой полярности – около 1 млн лет, в который попадает и современная эпоха.

В первом приближении временная шкала инверсий предполагает случайную последовательность инверсий, согласующуюся с хаотичным поведением геодинамо, однако долговременный тренд не является случайным [6 и др.]. “Стабильные” интервалы полярности прерываются многочисленными кратковременными экскурсами. Время появления этих событий, возможно, случайно, но их длительность достаточно однородна и составляет 5–10 тыс. лет [6].

Для исследования причин инверсий геомагнитного поля изучена периодичность инверсии данного поля по геомагнитной шкале за последние 5 млн



**Рис. 1.** Три эпизода инверсий полярности геомагнитного поля в истории Земли за последние 160 млн лет.

Вертикальная пунктирная линия отделяет две части С-последовательности, которые аппроксимируются отрезками разных прямых, которые также отмечены пунктиром.

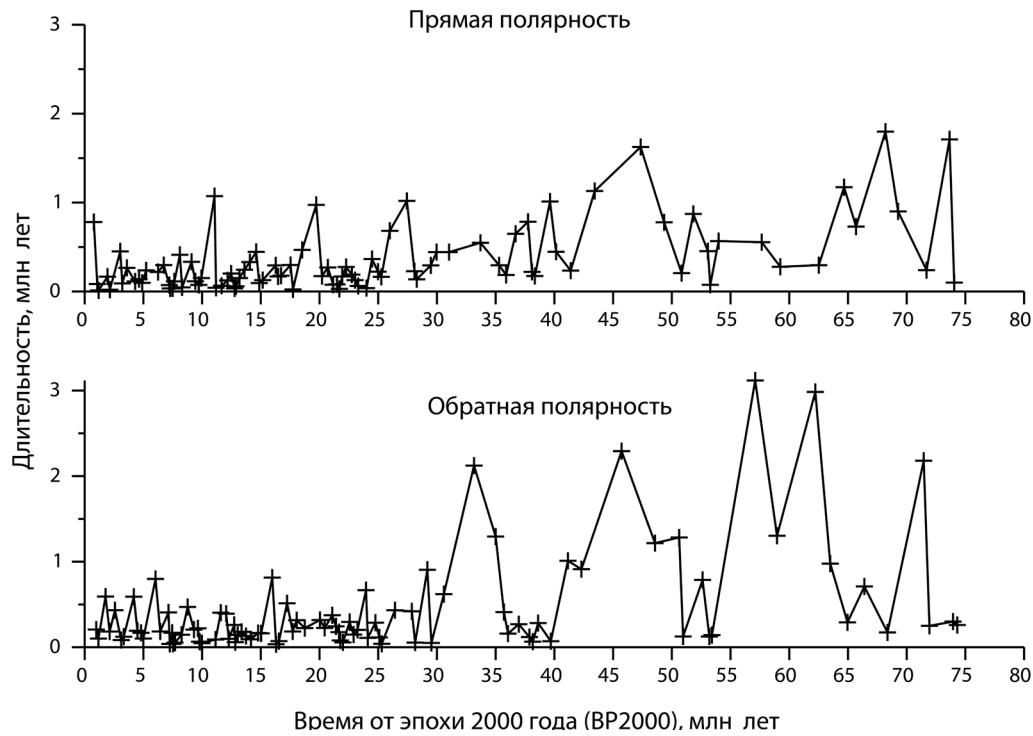
лет [3]. Проанализирован ряд значений геомагнитной шкалы, снятых через 0.02 млн лет. В результате установлено, что геомагнитное поле состоит из ряда полей с разными периодами, амплитудами и фазами инверсии. Намагниченность эпохи Брунес обусловлена главным образом магнитными полями с периодами 5, 2.5, 1.6, 0.8, 0.7, 0.55 млн лет и др. В этой интересной работе М. Омуралиева [3] (опубликованной в 2013 г.) нас смущает то, что она базируется исключительно лишь на данных, полученных на начало 70-х гг. прошлого века, т.е. самого начального периода изучения полосовых магнитных аномалий, и почему-то не использован огромный массив значительно более точных данных по проблеме инверсий, накопленный за последние 40 лет.

Зависимость возраста инверсий от порядка их следования может быть аппроксимирована несколькими сегментами прямых линий (рис. 1, верхняя часть). Кривая, построенная нами по уточненным данным, хорошо согласуется с подобной кривой, приведенной в [7]. На верхней части рис. 1 хорошо виден разрыв, МНПС, отделяющий С-последовательность от М-последовательности.

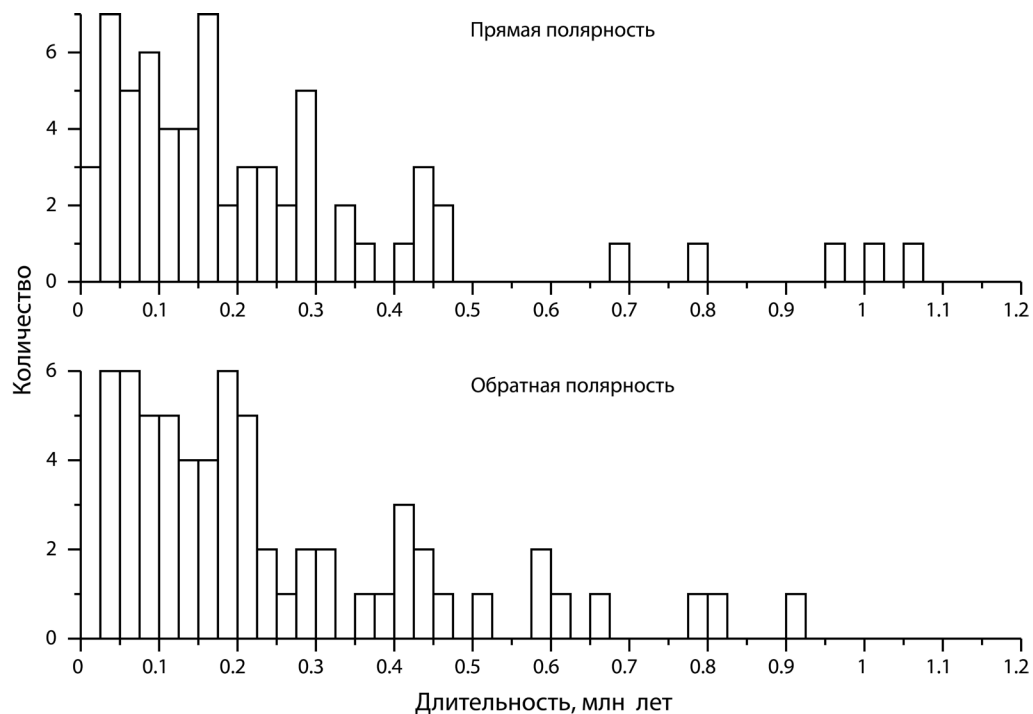
С-последовательность может быть разбита на два разных сегмента (пунктирные линии на рис. 1), которые пересекаются вблизи хрона С12г на границе 31–33 млн лет (инверсия 129). На нижней части рис. 1 приведен график зависимости длительности хрона от его порядкового номера. Из анализа были исключены хроны С33n и С33г, непосредственно следующие за МНПС, длительность которых вторая и третья по величине за весь период – 160 млн лет и, возможно, они более сходны с МНПС, чем с остальной последовательностью полярности. Линейные сегменты подразумевают, что процесс инверсий стационарен внутри сегмента и позволяет получить репрезентативные статистические параметры внутри каждого сегмента.

Характер изменения длительности инверсий на рубеже 30 млн лет хорошо виден на рис. 2 как для прямой, так и для обратной полярности, что соответствует смене отрезка аппроксимации на отсчете 129 на рис. 1.

На рис. 3 приведены гистограммы распределения длительности хронов прямой и обратной полярности геомагнитного поля для сегмента от 0



**Рис. 2.** Зависимость от времени длительности эпох прямой и обратной полярности для С-последовательности. По оси абсцисс отложено время в миллионах лет от эпохи 2000 года (BP2000), принятое для Международной геологической шкалы-2012 [10]. Крестиками показано начало периодов.



**Рис. 3.** Гистограмма первого сегмента С-последовательности (0–31 млн лет) для хронов прямой и обратной полярности.

По оси ординат отложено количество хронов в соответствующем классе длительности. Классы длительности по 0.025 млн лет распределены равномерно в диапазоне от 0 до 1.2 млн лет.

до 31 млн лет. Подсчитывалось количество хронов в каждом классе продолжительностью 0.025 млн лет. Отсутствуют хроны прямой полярности длительностью от 0.475 до 0.675 млн лет.

Статистические исследования длительности хронов показали, что эта величина имеет гамма-распределение с параметром около 1 (экспоненциальное распределение) [7]. Гамма-распределение хронов подразумевает, что процесс инверсий имеет память и вероятность инверсий не постоянна во времени. Непосредственно после инверсии вероятность новой вначале очень мала и увеличивается во времени. Основные выводы из статистического анализа С-последовательности [7, 9 и др.] следующие: каждый сегмент С-последовательности можно рассматривать как разный режим процесса инверсии, либо свойственный геодинамо, либо иницируемый извне, а пуассоновская модель, похоже, является фундаментальным свойством инверсий геомагнитного поля.

**Предварительный вывод.** Для экстраполяции шкалы инверсий в будущее следует использовать только один сегмент С-последовательности, прилегающий к настоящему времени. Этот сегмент предлагаем назвать С<sub>n</sub> (new, новейшее), он начался 33.157 млн лет назад (по [10]). За это время магнитное поле Земли менялось 129 раз, и из них лишь 6 раз продолжительность магнитных хронов составляла более современного, продолжающегося уже 781 тыс. лет. Это хроны, продолжавшиеся с 29.183 до 28.278 млн лет назад (обратная полярность), с 27.439 до 26.420 (прямая), с 19.722 до 18.748 (прямая), с 15.947 до 15.160 (обратная); с 11.056 до 9.984 (прямая); с 6.033 до 5.235 (обратная) млн лет назад. Средняя продолжительность этих 6 хронов составила 0.93 млн лет. Средняя продолжительность 129 магнитных хронов последовательности С<sub>n</sub> 0.24 млн лет, причем хроны обратной полярности имеют среднюю продолжительность 0.2466 млн лет, а хроны прямой полярности – 0.2346 млн лет. Гистограммы (см. рис. 3) для прямой и обратной полярности магнитного поля эпохи С<sub>n</sub> весьма сходны и обнаруживают в целом единую структуру распределения продолжительностей до примерно 0.5 млн лет, затем идет разрыв и редкие более длительные хроны – 5 положительных и 7 отрицательных. Средняя продолжительность этих редких длительных (более 0.525 млн лет) 12 хронов составляет 793 тыс. лет, что весьма близко к про-

должительности (781 тыс. лет) современной эпохи. Таким образом, мы, по всей видимости, живем в конце эпохи положительной магнитной полярности, скоро предстоит ее смена, с чем, возможно, и связаны отмечаемые в мире аномалии климата и др. Более точно время предстоящей смены магнитных полюсов Земли еще предстоит определить.

*Работа выполнена в рамках программы “Арктика” УрО РАН (проекты № 12-5-6-003 и 12-5-6-005).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов К.С., Костров Н.П., Манушко Е.А.* Глубинное строение Даниловского грабена Западной Сибири: геологическая интерпретация плотностных моделей // Докл. АН. 2013. Т. 451, № 5. С. 569–573.
2. *Костров Н.П., Манушко Е.А., Иванов К.С.* Магнитная модель центральной части Даниловского грабена Западной Сибири // Литосфера. 2014. № 1. С. 94–103.
3. *Омуралиев М.* Проблемы инверсии геомагнитного поля и механизма инверсии этого поля // Вестн. Ин-та сейсмологии НАН КР. 2013. № 1. С. 70–75.
4. *Cande S.C., Kent D.V.* A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. P. 13917–13951.
5. *Cande S.C., Kent D.V.* Ultrahigh resolution of marine magnetic anomaly profiles: A record of continuous paleointensity variations? // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. P. 15075–15083.
6. *Gubbins D.* The distinction between geomagnetic excursions and reversals // Geophys. J. Int. 1999. Т. 137. С. F1–F3.
7. *Lowrie W., Kent, D.V.* Geomagnetic polarity timescales and reversal frequency regimes // Timescales of the Paleomagnetic Field / Eds J. Channell, D. Kent, W. Lowrie, J. Meert. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 2004. V. 145. P.117–129.
8. *Langereis C.G., Dekkers M.J., De Lange G.J., Paterne M., Van Santvoort P.* Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 myr from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes // Geophys. J. Int. 1997. V. 129. P. 75–94.
9. *McFadden P.L., Merrill R.T., McElhinny M.W., Lee S.* Reversals of the Earth's magnetic field and temporal variations of the dynamo families // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P. 3923–3933.
10. The geologic time scale 2012 / Eds F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. V. 1, 2. Amsterdam: Elsevier, 2012. 1144 p.